

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРОЧНЯЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ДЕНДРИТНЫХ КРИСТАЛЛОВ В СЕРОМ ЧУГУНЕ

Показано, что дендритные кристаллы являются армирующим каркасом и упрочняют дисперсную эвтектическую матрицу при условии их содержания порядка 45–65 %, а также обладают относительно прилагаемой нагрузки перпендикулярной направленностью, кроме этого, имеют развитое «пакетное» строение.

Ключевые слова: серый чугун с пластинчатым графитом, дендритные кристаллы первичного аустенита, эвтектические ячейки, принципы композиционного упрочнения дискретно-упрочнённых волокнистых материалов.

It is shown that dendritny crystals are the reinforcing framework and strengthen a disperse eutectic matrix on condition of their contents about 45 - 65%, and also possess rather enclosed loading a perpendicular orientation, besides have the developed "package" structure.

Key words: gray cast iron with lamellar graphite, dendritic crystals of primary austenite eutectic cell composite hardening principles discrete-hardened fibrous materials.

Одной из приоритетных задач материаловедения и важнейшим направлением технического прогресса в машиностроении является внедрение в производство материалов обеспечивающих конструкционную прочность узлов и механизмов на протяжении всего заданного ресурса их эксплуатации. В настоящее время серый чугун по-прежнему является основным конструкционным материалом в производстве корпусных изделий сложной геометрии, изготовление которых экономически целесообразно, а зачастую единственно возможно только из чугуна.

Известно, что существующие направления по повышению прочности чугунных отливок, основанные на различных способах внепечной обработки и легирования, во многом уже исчерпали свои возможности дальнейшего обеспечения возрастающих требований к этому материалу. Однако перспективным остается направление повышения прочности чугунных отливок за счет подхода к серому чугуну как к аналогу композиционного материала с дискретными волокнами (ВКМ). Серый чугун является структурно неоднородным материалом и состоит из фаз принципиально различных по прочности. Его основу составляют эвтектические ячейки, каждая из

которой ослаблена разветвленным графитовым монокристаллом, расчленяющим ее металлическую матрицу на отдельные слабо связанные между собой элементы. Поэтому в первом приближении дендритные кристаллы первичного аустенита выполняют роль упрочняющих волокон армируя малопрочную эвтектику. Предпосылки этого подхода были заложены и развиты в работах зарубежных и отечественных ученых: Н. Г. Гиршовича, Г. А. Косникова, В. Паттерсона, Г. Н. Троицкого; В. А. Ильинского, Л. В. Костылевой, А. А. Жукова, Б. Н. Арзамасова, Р. Эллиота.

Цель работы заключалась в изучении особенностей упрочняющего действия дендритов в чугунах на базе основных принципов композиционного упрочнения.

Исследования проводились на шлифах, изготовленных из материала стандартных разрывных образцов (\varnothing 30 мм). Степень эвтектичности исследуемых чугунов (СЧ 15 – СЧ 30) изменялась в пределах от 0,82 до 1,0. База промышленных испытаний разных марок серого чугуна включала более 150 образцов чугуна. В табл. 1 представлены результаты сравнительного анализа соответствия первичной структуры серого перлитного чугуна основным принципам композиционного упрочнения ВКМ.

Таблица 1

Анализ соответствия первичной структуры серого чугуна принципам композиционного упрочнения

Структурные принципы упрочнения ВКМ	Композиционный материал с дискретными волокнами		Серый чугун	
	волокно	матрица	дендрит	ячейки эвтектики
Объемная доля волокна, $F_{\text{дк}}$, об. %	20÷80	остальное	0÷65	остальное
Соотношение прочности структурных элементов [1, 2]	$\sigma_{\text{в волокно}} \gg \sigma_{\text{в матрица}}$		400÷800 МПа	60÷120 МПа
Отношение длины к диаметру волокна, l/d	10÷1000		Реализуется $l_{\text{дк}} = (3\div 16) \pm 0,94$ мм, $d_{\text{дк}} = (20\div 28) \pm 0,85$ мкм	
Связь волокон и матрицы	прочная		реализуется не в полной мере	

Для изучения причин частичной реализации связи волокон и матрицы были проанализированы изломы стандартных разрывных образцов после

испытаний на растяжение. При анализе макрорельефов образцов установлено, что при одинаковых значениях прочности развитость рельефов существенно отличается (рис. 1): от сравнительно ровного излома до грубого и зубчатого. Дальнейшие фрактографические исследования выполнялись на образцах представителях каждой из групп с близкими значениями прочности, но различной развитостью поверхности. Количественная оценка строения изломов путем их профилографирования показала, что значения площади разрушения излома с развитой поверхностью больше в 3 и 5 раз, чем ровной, и средняя нагрузка разрушения при этом увеличивается.

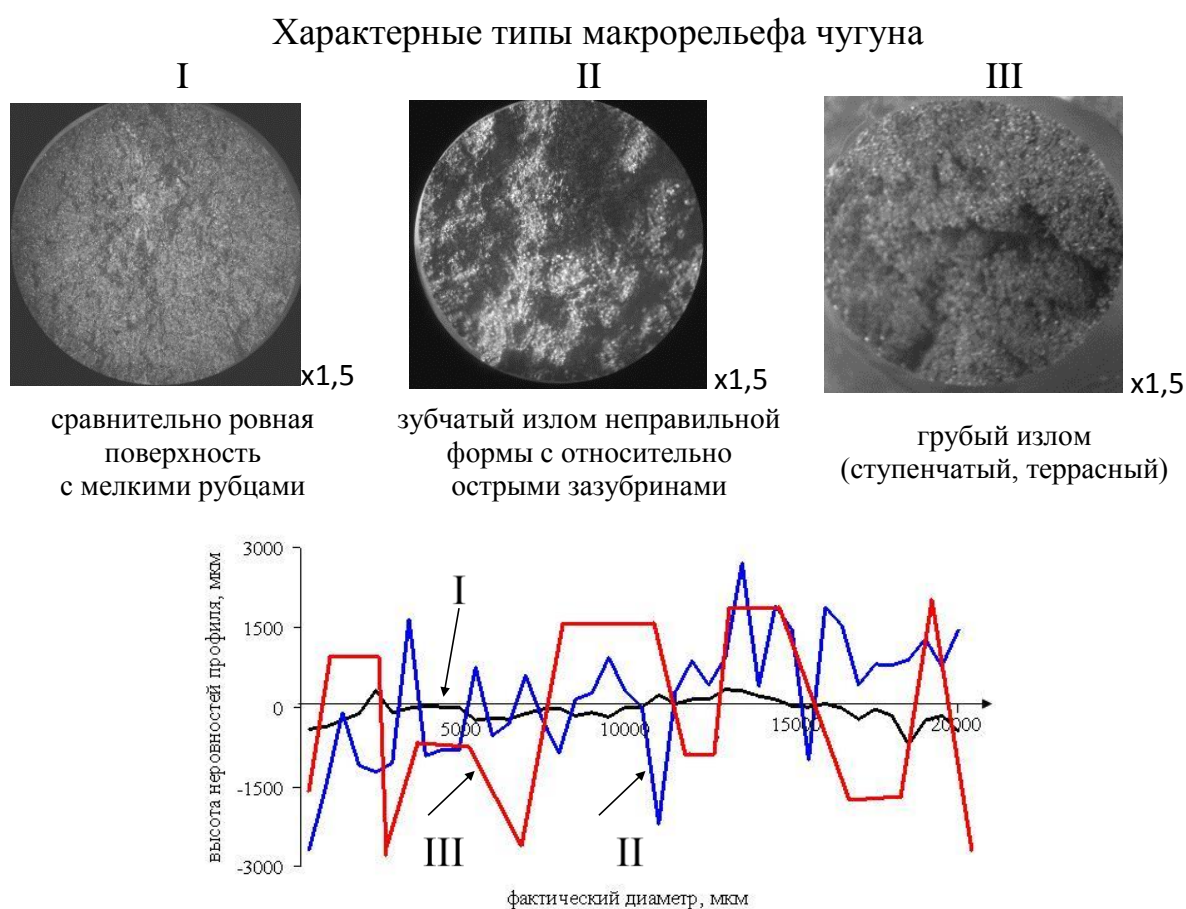


Рис. 1. Характерные макрорельефы чугуна и их профилограммы

Для выяснения причин влияющих на изменение макрорельефов образцов была использована методика модельной реконструкции магистральной трещины [3, 4]. Было установлено, что в образцах с развитой поверхностью разрушения, дендритных кристаллов содержится на 25 % больше, при этом 8–10 % кристаллов ориентированы перпендикулярно нагрузке столько же под углом 0° , а 80–85 % имеют ориентацию $45^\circ \pm 10$ (что возможно и обеспечило данный рельеф на поверхности излома). Образец с плоской поверхностью из всей объемной доли дендритов имеет 5 % арми-

рующих кристаллов ориентированных под углом $85-90^\circ$, 15 % под углом $0-4^\circ$, а остальные 85 % от 5° до 25° .

Также следует отметить, что с увеличением степени развитости рельефа образцов у дендритных кристаллов наблюдается рост доли имеющих «пакетное» строение (рис. 2). Дендриты занимают при этом довольно большой объем, т. к. во время кристаллизации разрастаются во всех направлениях. Относительно приложенной нагрузки имеют стохастическую ориентацию, а магистральная трещина при распространении либо вызывает их разрушение, либо изменяет свое направление, огибая их, что, несомненно, повышает сопротивление материала разрушению.

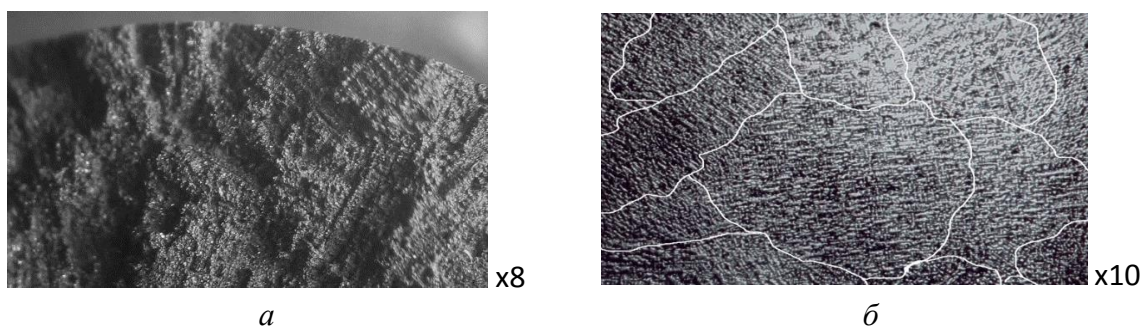


Рис. 2. Пакетное строение дендритов первичного аустенита в чугунах:
а – характерный рельеф на поверхности разрушения; б – «пакеты» дендритных кристаллов

Установлено, что в промышленных композициях серого чугуна с разным количеством дендритов первичного аустенита – влияние на прочность дисперсности эвтектических ячеек имеет разную интенсивность. Положительное влияние наблюдается в композициях, где объемная доля дендритных кристаллов не высока и составляет 15–25 %, а также в чугунах с высоким содержанием дендритов более 55 %, т. е. когда упрочняющее действие дендритов ослабляется либо недостаточно.

Таким образом, в результате проведенных исследований следует отметить, что на прочность чугуна его первичной структурой оказывается совместное влияние, реализующееся путем: изменения дисперсности ячеек эвтектики, изменения количества дендритных кристаллов, изменения строения дендритов, а также положения относительно прилагаемой нагрузки.

Список литературы

1. Ильинский В. А. О композитном характере структуры кристаллизации чугунов с различной степенью эвтектичности / В. А. Ильинский, Л. В. Костылева // Изв. АН СССР. Металлы. 1986. № 5. С. 116–118.
2. Ильинский В. А. Прочность элементов первичной структуры и особенности разрушения серого чугуна / В. А. Ильинский, Л. В. Косты-

- лева, Е. Ю. Карпова // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1997. № 3. С. 23–26.
3. *Костылева Л. В.* Сопротивляемость первичной структуры серого чугуна распространению трещин отрыва / Л. В. Костылева, Л. В. Палаткина, В. А. Ильинский // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2008. № 5. С. 44–47.
 4. *Костылева Л. В.* Фрактографические особенности строения изломов чугуновых разрывных образцов / Л. В. Костылева, Л. В. Палаткина, В. А. Ильинский // *Материаловедение*. 2007. № 11. С. 31–34.